

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Кафедра промислового, цивільного будівництва  
та інженерних споруд

**03-01-103**

**Методичні вказівки**  
до виконання лабораторних робіт з курсу  
«Сучасні проблеми проектування  
і застосування будівельних конструкцій»  
для здобувачів вищої освіти першого  
(бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою  
«Промислове і цивільне будівництво» спеціальності  
192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
всіх форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості ННІБА  
Протокол № 1 від 10.10.2019 р.

Рівне – 2019

Методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань з курсу «Сучасні проблеми проектування і застосування будівельних конструкцій» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Промислове і цивільне будівництво» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» [Електронне видання] / Григорчук А. Б. – Рівне : НУВГП, 2019. – 27 с.

Укладач: Григорчук А. Б., кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Відповідальний за випуск: Бабиц Є. М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Керівник групи забезпечення спеціальності                      Бабиц Є. М.

© Григорчук А. Б., 2019  
© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2019


## ВСТУП

Для підвищення свого рівня на ринку праці майбутні інженери-будівельники повинні в достатній мірі володіти комп'ютерною технікою як для виконання текстової та графічної частин проекту, так і для проведення розрахунків та конструювання будівельних конструкцій.

На сьогоднішній день одним із найпоширеніших програмних комплексів, що використовуються провідними проектними та будівельними організаціями не лише в Україні, але й за кордоном, є потужний програмний комплекс Ліра САПР (далі ПК Ліра).

Принцип роботи ПК Ліра оснований на методі кінцевих елементів, коли один конструктивний елемент розбивається на кілька елементів, що пов'язані кінцевими зв'язками. Чим більший ступінь розбивання елементу на кінцеві елементи, тим вища точність розрахунку. Не виключена можливість використання в розрахунковій схемі кінцевих елементів, що відповідають конструктивним елементам. Такий варіант найчастіше використовується при розрахунку стержневих систем. Так, наприклад, у рамі будівлі ригель та колона (за умови їхньої геометричної незмінності по довжині) в розрахунковій схемі моделюються одним кінцевим елементом із заданими характеристиками та геометрією перерізу. База стандартних типів перерізів, що реалізована в ПК Ліра дозволяє змодельовати будь-який тип перерізу колони, ригеля, балки покриття, при чому це справедливо як для залізобетонних елементів так і для елементів, що проектується із металу, адже база даних містить повний асортимент металопрокату та можливість комбінацій для створення складних перерізів (двовіткові колони, парні кутики, зварні двутаври і т.д.).

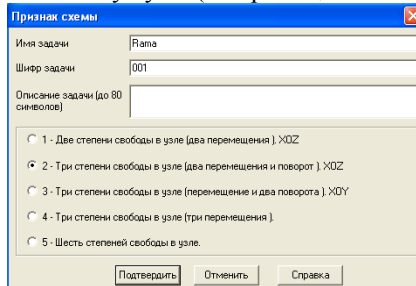
При створенні геометричної схеми стержневих систем в ПК Ліра реалізовано можливість генерації стандартних сіток поперечних багатоповерхових та багато пролітних рам будівель (при чому кроки по різних осях можуть відрізнятися та бути однаковими). Виклик команди

генерації стандартних сіток проводиться натисканням на піктограму , що розташована в інструментальному меню або командами файлового меню „схема – создание – регулярные фрагменты и сети”.

Інтерфейс програмного комплексу має адаптацію до стандартного Windows інтерфейсу, де є файлові (текстові) та інструментальні (у виді піктограм) меню, а також система діалогових вікон, в яких проходить основна робота з налаштування команд та операцій. Створення розрахункових схем проходить у графічному режимі на робочому полі. Розрахункові схеми можуть створюватись генерацією стандартних елементів та безпосереднім введенням вузлових точок і з'єднання їх стержнями. **Увага!!!** Спочатку створюються вузли, а далі - елементи.


## Етапи створення розрахункової схеми.

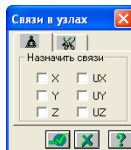
I. Створюємо новий файл із вказанням назви файлу та шифру задачі (бажано латинськими літерами та не більше 8 літер). Далі в діалоговому меню призначаємо признак схеми, тобто кількість ступенів вільності кінцевих елементів. При розв'язанні плоскої задачі активуємо признак – 2, тобто три ступеня вільності у вузлі (2 переміщення та поворот).




II. Генеруємо стандартні параметричні рами та ферми або створюємо стержневі системи за допомогою вузлових точок та об'єднуючих їх стержнів; фіксація координат вузлів із використанням операцій копіювання, розмноження, переносу та ін.

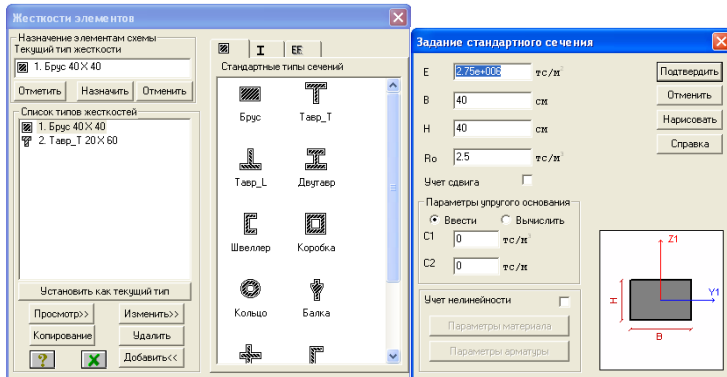
III. Накладаємо систему в'язів, тобто вказуємо точки розкріплення (опори) схеми в просторі. Кожному опорному вузлу може бути присвоєно 3 обмеження (по кількості ступенів вільності) – 2 переміщення ( $x$ ,  $z$ ) та один поворот ( $uy$ ). Перед накладанням в'язей необхідно виділити опорні вузли, і після вибору певного типу обмежень підтвердити свій вибір.

Виклик меню проводиться натисканням клавіші  інструментального меню програми.




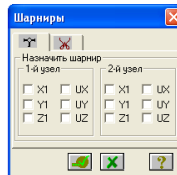
IV. Задаємо характеристики стержневих елементів, тобто їх жорсткості. Для виклику меню жорсткоюсєй елементів натискаємо піктограму . Для присвоєння відповідної жорсткості елементів, спочатку необхідно їх створити, для чого в діалоговому вікні активуємо команду „добавить”, після цього відкривається вікно із типовими перерізами. В програмі доступні перерізи масивних конструкцій (*стандартные типы сечений*) та перерізи металевих конструкцій (в програму вбудовано сортамент металлопроката), існує можливість використання як окремих прокатних профілів, так і їх комбінацій. У процесі створення конструктивного елементу задають його характеристики – геометричні розміри, модуль пружності та об'ємну вагу, при роботі із металоконструкціями вибираємо відповідний профіль із

сортаменту, та відповідний йому тип сталі. Діалогові вікна показані нижче.




Після створення всіх видів конструктивних елементів вибираємо той, який нас цікавить в списку жорсткостей, встановлюємо його поточним „установить как текущий тип”, відмічаємо стержні, які повинні відповідати даному типу жорсткості (при цьому вікно жорсткостей повинно бути відкритим), та активуємо команду „назначить”. Аналогічні операції виконуємо і з іншими елементами схеми.

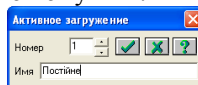
V. У разі необхідності створення в схемі шарнірів (шарнірне з'єднання елементів) викликаємо відповідне діалогове меню активацією піктограми , де вказуємо наявність шарніру на відповідних кінцях стержня.




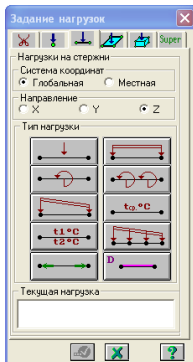
При визначенні початку та кінця стержня (1-й та 2-й вузол) зручно вивести на екран схему нумерації вузлів, активувавши команду «*флаги рисования*» інструментального меню та відмітивши відповідну команду.

Після проведення всіх вище перерахованих операцій необхідно провести *Упаковку схемы*.

VI. Завантаження схеми. Для створення навантажень спочатку необхідно створити види навантажень (постійні, корисні, вітрові, снігові, кранові і т.д.) активувавши піктограму , де вибираємо номер навантаження, та присвоюємо йому ім'я.



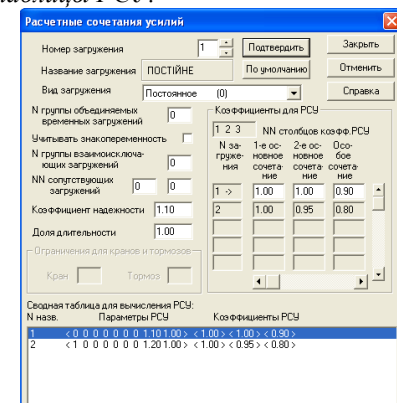
Наступним кроком створення навантаження є виклик меню „задание нагрузок”  , де існує можливість задавати вузлові навантаження та навантаження на елементи, переходячи по відповідних закладках.




нагрузок”. Далі

елементи чи вузли до яких необхідно прикласти навантаження, та підтверджуємо свій вибір (натиснувши на зелену галочку в нижній частині вікна). Після цього в графічній формі на схемі з’явиться задане навантаження. Аналогічні операції виконуємо і по інших номерах навантажень.

VI. Генеруємо таблицю РСУ (*расчетные сочетания усилий*), де вибираємо номер завантаження та присвоюємо йому відповідний вид „вид загрузки”. Виклик команди РСУ через файлове меню – *Нагрузки – РСУ – Генерация таблицы РСУ*.







Після закінчення генерації таблиці РСУ – виконуємо розрахунок РСУ: *Нагрузки – РСУ – Выполнить расчет РСУ*.

VII. В разі успішного розрахунку активується команда перегляду результатів  , активувавши яку ми перейдемо до режиму візуалізації

результатів розрахунку. Далі переходимо в файлове меню *Усилия* та активуємо команду *РСН (расчетные сочетания нагрузок)*, де задаємо сполучення навантажень для розрахунку, та проводимо сам розрахунок РСН.

## VII. Перегляд та друк результатів.

Для складання звіту розрахунків існує модуль *Документатор* , *Отчет*  та *Интерактивные таблицы* . Документатор дозволяє роздрукувати розрахункові схеми, перед цим їх необхідно скопіювати з робочого столу за допомогою команди . В інтерактивних таблицях існує редактор форм, який дозволяє корегувати та вибирати будь-яку таблицю із вихідними даними та даними розрахунку, дозволяє їх переглядати і за допомогою команди *В отчет* відправляти до звіту, після чого можна друкувати звіт де будуть всі таблиці, що нас цікавлять.

Розрахунковий модуль ЛирВизор ПК Ліра 9.0 дозволяє проводити статичні розрахунки систем, порядок яких описано вище. Для конструювання передбачено модулі ЛирАрм та ЛирСТК для проектування залізобетонних та металевих конструкцій.

Нижче наведено приклад розрахунку двоповерхової рами будівлі.

**Приклад.** Розрахунок рами на статичні навантаження

Виконати розрахунок рами на статичні навантаження. Вивести на екран деформовану схему й епюри згинальних моментів  $M$  і поперечних сил  $Q$ .

Матеріал рами – залізобетон С30/35.

Задано навантаження:

постійне рівномірно розподілене  $g_1 = 2.0 \text{ тс/м}$ ;

постійне рівномірно розподілене  $g_2 = 1.5 \text{ тс/м}$ ;

постійне рівномірно розподілене  $g_3 = 3.0 \text{ тс/м}$ ;

тимчасове тривале рівномірно розподілене  $g_4 = 4.67 \text{ тс/м}$ ;

тимчасове тривале рівномірно розподілене  $g_5 = 2.0 \text{ тс/м}$ ;

вітрове (ліворуч)  $P_1 = -1.0 \text{ тс}$ ; вітрове (ліворуч)  $P_2 = -1.5 \text{ тс}$ ;

вітрове (ліворуч)  $P_3 = -0.75 \text{ тс}$ ; вітрове (ліворуч)  $P_4 = -1.125 \text{ тс}$ ;

вітрове (праворуч)  $P_1 = 1.0 \text{ тс}$ ; вітрове (праворуч)  $P_2 = 1.5 \text{ тс}$ ;

вітрове (праворуч)  $P_3 = 0.75 \text{ тс}$ ; вітрове (праворуч)  $P_4 = 1.125 \text{ тс}$ .

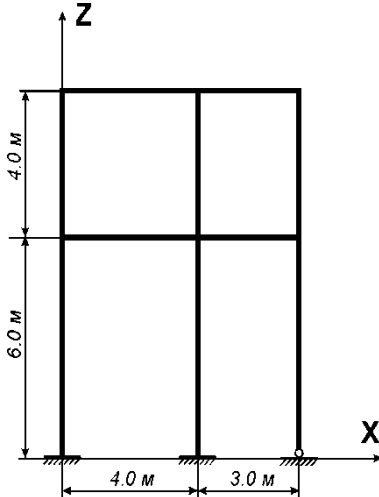


Рис. 1.1. Схема рами

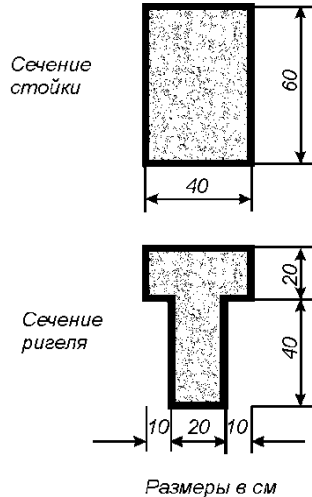


Рис. 1.2. Поперечні перерізи



Розрахунок виконати в чотирьох завантаженнях, наведених на мал. 1.3.

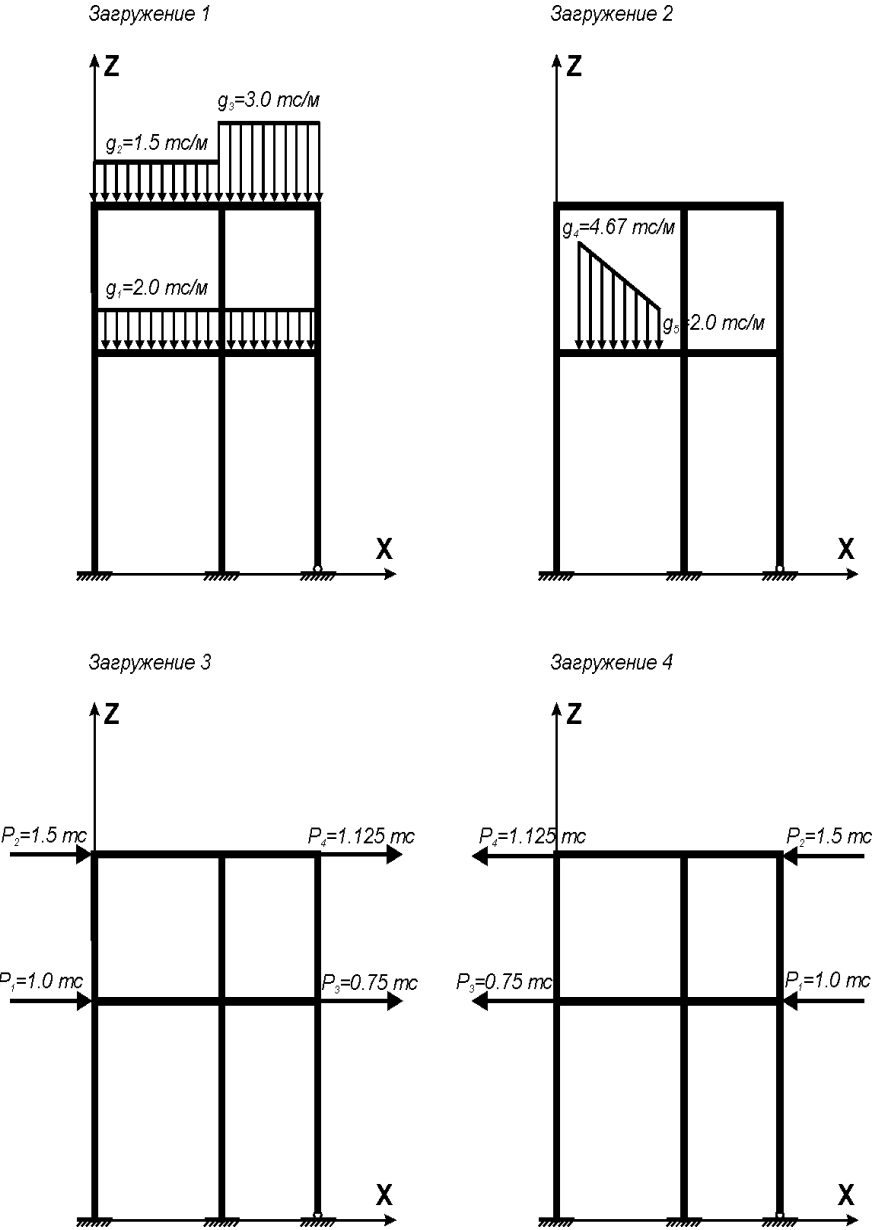





















Рис.1.3. Схеми завантажень рами




<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
1.1.Запуск системи ЛІР-ВІЗОР		<b>Пуск ► Програми ► Lira САПР ► ЛІРА САПР</b>	
1.2.Створення нової задачі		У діалоговому вікні «Признак схеми» задайте ім'я задачі: «Приклад1» і ознака схеми: «2».	
<b>1.3.Створення геометричної схеми рами</b>			
1.3.1. Генерация рами		У діалоговому вікні «Генерация регулярных фрагментов и сетей» активізуйте закладку «Генерация рамы», потім задайте крок кінцевих елементів уздовж горизонтальної осі і кількість кроків, а також крок КЭ уздовж вертикальної осі і кількість кроків. Крок уздовж першої осі: $L(m) - 4.00 \quad 3.00$ $N - 1 \quad 1.$ Крок уздовж другої осі: $L(m) - 6.00 \quad 4.00$ $N - 1 \quad 1.$ Після цього клацніть по кнопці <b>Применить.</b>	<i>Це вікно, як і багато хто інші, є немодальним, тобто з розрахунковою схемою можна працювати, не закриваючи його, що зручно для створення і коректування розрахункової схеми.</i>
1.4.Збереження даних		У діалоговому вікні «Зберегти як» задайте ім'я задачі і папку, у ktorую буде збережена ця задача.	
<b>1.5.Завдання граничних умов</b>			
1.5.1.Вивід на екран номерів вузлів	 	У діалоговому вікні «Флаги рисования» активізуйте закладку «Узлы». Після цього виберіть команду <b>Номера узлов</b> і клацніть по кнопці <b>Применить.</b>	<i>На розрахунковій схемі відобразяться номери вузлів.</i>
1.5.2.Виділення вузлів № 1 і 2		Виділіть вузли № 1 і 2.	<i>Вузли зафарбуються в червоний колір.</i>






<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
1.5.3. Призначення граничних умов у виділених вузлах		У діалоговому вікні «Связи» активуйте закладку «Назначить связь», відзначте напрямки, по яких заборонені переміщення вузлів (X, Z, UY) і клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	<i>Вузли офарблюються в синій колір.</i>
1.5.4. Виділення вузла № 3		Виділіть вузол № 3.	
1.5.5. Призначення граничних умов у виділеному вузлі		У діалоговому вікні «Зв'язки у вузлах» відзначте напрямки, по яких заборонене переміщення вузла (X, Z) і клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	
<b>1.6. Створення параметрів жорсткості елементів рами</b>			
1.6.1. Формування типів жорсткості		У діалоговому вікні «Жесткости элементов» сформуєте список типів жорсткості.	
1.6.1.1. Вибір типу перерізу «Брус»		Клацніть по кнопці <b>Добавить</b> і, вибравши закладку «Стандартные типы сечений», активізуйте перетин «Брус».	<i>Для того, щоб викликати вікно завдання параметрів перерізу, двічі клацніть на піктограмі перетину.</i>
1.6.1.2. Завдання параметрів перерізу «Брус»		У діалоговому вікні «Создание стандартного сечения» введіть параметри перерізу: - модуль пружності – $E = 3 \times 10^6 \text{ т/м}^2$ ; - геометричні розміри – $B = 60 \text{ см}$ ; $H = 40 \text{ см}$ .	
1.6.1.3. Вибір типу перерізу «Тавр_Т»		У діалоговому вікні «Жесткости элементов» виберіть тип перетину «Тавр_Т».	
1.6.1.4. Завдання параметрів перерізу «Тавр_Т»		У діалоговому вікні «Создание стандартного сечения» введіть параметри перерізу: - модуль пружності – $E = 3 \times 10^6 \text{ т/м}^2$ ; - геометричні розміри – $B = 20 \text{ см}$ ; $H = 60 \text{ см}$ ; $B1 = 40 \text{ см}$ ; $H1 = 20 \text{ див}$ .	

<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
<b>1.6.2.Призначення жорсткостей елементам рами</b>			
1.6.2.1.Призначення поточного типу жорсткості «1.Брус 60х40»		Виділіть необхідну жорсткість у вікні списку і клацніть по кнопці <b>Установить как текущий тип.</b>	<i>У вікні поточного типу відобразиться обрана твердість.</i>
1.6.2.2. Виділення вертикальних елементів		Виділіть вертикальні елементи.	<i>Виділені елементи офарблюються в червоний колір.</i>
1.6.2.3. Призначення виділеним елементам поточного типу жорсткості		У діалоговому вікні «Жесткости элементов» клацніть по кнопці <b>Применить.</b>	<i>З елементів знімається виділення. Це свідчення того, що виділеним елементам привласнена поточна жорсткість.</i>
1.6.2.4. Призначення поточного типу жорсткості «2.Тавр_Т 20х60»		Виділіть необхідну жорсткість у вікні списку і клацніть по кнопці <b>Установить как текущий тип.</b>	
1.6.2.5.Виділення горизонтальних елементів		Виділіть горизонтальні елементи.	
1.6.2.6. Призначення виділеним елементам поточного типу жорсткості		У діалоговому вікні «Жесткости элементов» клацніть по кнопці <b>Применить.</b>	

<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
<b>1.7.Задання навантажень</b>			
1.7.1.Вивід на екран номерів елементів		У діалоговому вікні «Показати» активізуйте закладку «Елементи». Після цього виберіть команду <b>Номера елементів</b> і клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	<i>На розрахунковій схемі відобразяться номери елементів.</i>
<b>Формування завантаження № 1</b>			
1.7.2.Виділення елементів № 7 і 8		Виділіть горизонтальні елементи № 7 і 8.	
1.7.3.Завдання навантаження $q_1$ на виділених елементах		У діалоговому вікні «Задание нагрузок» активізуйте закладку «Нагрузки на стержни». Потім радіо-кнопками вкажіть систему координат «Глобальная», напрямок – уздовж осі «Z». Щикликом по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно «Параметры местной нагрузки». У цьому вікні введіть інтенсивність $q_1 = 2.0$ тс/м і підтвердите введення. Після цього в діалоговому вікні «Задание нагрузок» клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	<i>Перше завантаження приймається за умовчування</i>
1.7.4.Виділення елемента № 9		Виділіть елемент № 9.	
1.7.5.Завдання навантаження $q_2$ на виділений елемент		У діалоговому вікні «Задание нагрузок» щикликом по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно «Параметры местной нагрузки». У цьому вікні введіть інтенсивність $q_2 = 1.5$ тс/м і підтвердите введення. Після цього в діалоговому вікні «Задание нагрузок» клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	
1.7.6.Виділення елемента № 10		Виділіть елемент № 10.	

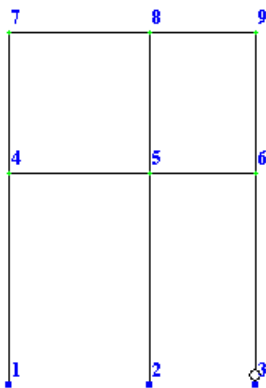
<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
1.7.7.Завдання навантаження $q_3$ на виділений елемент		У діалоговому вікні «Задание нагрузок» щикликом по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно «Параметры месной нагрузки». У цьому вікні введіть інтенсивність $q_3 = 3.0$ тс/м і підтвердите введення. Після цього в діалоговому вікні «Задание нагрузок» клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	
<b>Формування загруження № 2</b>			
1.7.8.Зміна номера поточного завантаження		У діалоговому вікні «Активное загрузение» задайте номер загруження <b>2</b> .	<i>При необхідності можна задати інше ім'я завантаження.</i>
1.7.9.Виділення елемента № 7		Виділіть елемент № 7.	
1.7.10.Завдання трапецієподібного навантаження з інтенсивностями $q_4$ , $q_5$		У діалоговому вікні «Задание нагрузок» щикликом по кнопці трапецієподібного навантаження викличте діалогове вікно «Параметры месной нагрузки». У цьому вікні введіть параметри: $P1 = 4.67$ тс/м, $A1 = 0.5$ м, $P2 = 2.0$ тс/м, $A1 = 3.5$ м і підтвердите введення. Після цього в діалоговому вікні «Задание нагрузок» клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	
<b>Формування загруження № 3</b>			
1.7.11.Зміна номера поточного завантаження		У діалоговому вікні «Активное загрузение» задайте номер завантаження <b>3</b> .	
1.7.12.Виділення вузла № 4		Виділіть вузол № 4.	

<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
1.7.13. Завдання вузлового навантаження P1		У діалоговому вікні «Задание нагрузок» активізуйте закладку «Нагрузки в узлах». Потім радіо-кнопками вкажіть систему координат «Глобальная», напрямок – уздовж осі «Х». Активувавши кнопку зосередженої сили викличте діалогове вікно «Параметри навантаження». У цьому вікні введіть значення $P = -1$ тс і підтвердите введення. Після цього в діалоговому вікні «Задание нагрузок» клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	
1.7.14. Виділення вузла № 7		Виділіть вузол № 7.	
1.7.15. Завдання вузлового навантаження P2		У діалоговому вікні «Задание нагрузок» щикликом по кнопці зосередженої сили викличте діалогове вікно «Параметры нагрузок». У цьому вікні введіть значення $P = -1.5$ тс і підтвердите введення. Після цього в діалоговому вікні «Задание нагрузок» клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	
1.7.16. Завдання навантаження у відповідності зі схемою завантаження № 3 P3 і P4		Аналогічно попереднім двом операціям задайте навантаження: - у вузлі № 6 – $P3 = -0.75$ тс; - у вузлі № 9 – $P4 = -1.125$ тс.	
<b>Формування завантаження № 4</b>			
1.7.17. Зміна номера поточного завантаження		У діалоговому вікні «Активное загрузеение» задайте номер завантаження <b>4</b> .	
1.7.18. Виділення вузла № 4		Виділіть вузол № 4.	

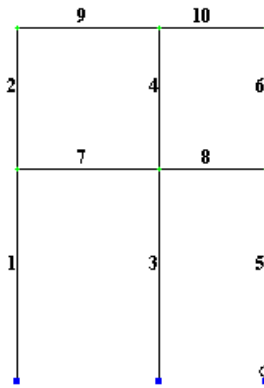
<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
1.7.19. Завдання вузлового навантаження РЗ		У діалоговому вікні «Задание нагрузок» активувавши кнопку зосередженої сили викличте діалогове вікно «Параметры нагрузок». У цьому вікні введіть значення $P = 0.75$ тс і підтвердите введення. Після цього в діалоговому вікні «Задание нагрузок» клацніть по кнопці <b>Применить</b> .	
1.7.20. Завдання навантаження у відповідності зі схемою завантаження № 4 Р1, Р2 і Р4		Аналогічно попереднім двом операціям задайте навантаження: - у вузлі № 6 – <b>Р1</b> = 1.0 тс; - у вузлі № 9 – <b>Р2</b> = 1.5 тс; - у вузлі № 7 – <b>Р4</b> = 1.125 тс.	
1.8.Запуск задачі на розрахунок		Клацніть по кнопці інструмента або введіть команди <b>Режим ➤ Выполнить расчёт</b> .	
1.9. Перехід у режим візуалізації результатів розрахунку		Клацніть по кнопці інструмента або введіть команди <b>Режим ➤ Результаты расчёта</b> .	
1.10. вивід на екран деформованої схеми			
1.11. Вивід на екран епюри $M_x$			
1.12. Вивід на екран епюри $Q_z$			



<i>Етапи та операції</i>	<i>Команда та її інструмент</i>	<i>Ваші дії</i>	<i>Рекомендації і коментарі</i>
--------------------------	---------------------------------	-----------------	---------------------------------



*Рис. 1.4. Нумерація вузлів розрахункової схеми рами*



*Рис. 1.5. Нумерація елементів розрахункової схеми рами*

### ***Розрахункові сполучення зусиль***

У програмному комплексі передбачене автоматизоване формування *розрахункових сполучень зусиль* (расчётных сочетаний усилий - РСУ), що відповідає нормативним документам на проектування об'єктів будівництва.

Вибір РСУ в проектуванні завжди був кропіткою та трудомісткою справою. Проблема полягала в тому, що було потрібно не тільки обчислити велику кількість сполучень і проаналізувати результати, але при цьому не було гарантій оптимальним отриманим значень.

Розроблювачі застосували для обчислення РСУ новий, оригінальний підхід, що полягає в наступному.

У загальному випадку НДС критерієм визначення небезпечного РСУ служать екстремуми пружного потенціалу в якій-небудь точці тіла при дії на нього зусиль від багатьох завантажень. У такій постановці легко враховуються особливості напруженого стану кінцевих елементів різного типу. Це дозволяє значно скоротити кількість розглянутих РСУ, не втративши найбільш небезпечних з них.

Щоб усвідомлено скористатися автоматизацією РСУ, користувач повинний познайомитися з загальними правилами формування РСУ в ПК ЛПРА. Сформулюємо ці правила так:

- параметри розрахункових сполучень задаються для кожного з завантажень задачі;
- кожне РСУ відноситься до одного з передбачених нормативними документами видів сполучень;
- у програмному комплексі реалізовано 8 видів завантажень, за допомогою яких програмно забезпечується їх коректний логічний взаємозв'язок. При цьому існує можливість обліку знакоперемінності, взаємовиключення і супутніх завантажень. Кожному з видів завантажень присвоєно номер:
  - (0) – постійне;
  - (1) – тимчасове тривале;
  - (2) – короткочасне;
  - (3) – кранове;
  - (4) – гальмове;
  - (5) – сейсмічне;
  - (6) – особливе (крім сейсмічного);
  - (7) – миттєве;
  - (9) – вітрове статичне при обліку пульсації вітру.
- Програмним комплексом автоматично (за замовчуванням) генеруються параметри, що відповідають поточному виду завантаження. Однак, користувач може на свій розсуд змінити кожний з параметрів;
- всі операції з формування РСУ виконуються за допомогою діалогового вікна «Розрахункові сполучення зусиль»;
- дані для формування РСУ можуть бути введені наступним чином:
  - до розрахунку, у режимі «Розрахункова схема»;
  - після розрахунку, у режимі «Результати розрахунку».

**Расчетные сочетания усилий**

Номер загрузки: 1 Подтвердить Закончить

Название загрузки: Загрузка 1 По умолчанию Отменить

Вид загрузки: Постоянное (0) Помощь

N группы объединяемых временных загрузок: 0

Учитывать знакопеременность: ☐

N группы взаимоисключающих загрузок: 0

NN сопутствующих загрузок: 0 0

Коэффициент надежности: 1.10

Доля длительности: 1.00

Ограничения для кранов и тормозов:

Кран ☐ Тормоз ☐

Коэффициенты для РСУ

1	2	3	NN столбцов коэф. РСУ
N загрузки	1-е основное сочетание	2-е основное сочетание	Особое сочетание
1 ->	1.00	1.00	0.90
2	1.00	0.95	0.80
3	1.00	0.90	0.50
4	1.00	0.90	0.50

Сводная таблица для вычисления РСУ:

N назв.	Параметры РСУ	Коэффициенты РСУ
1	< 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00 >	< 1.00 > < 1.00 > < 0.90 >
2	< 1 0 0 0 0 0 1.20 1.00 >	< 1.00 > < 0.95 > < 0.80 >
3	< 2 0 0 1 0 0 1.20 0.35 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
4	< 2 0 0 1 0 0 1.20 0.35 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >

Рис.1.6. Диалогове вікно «Розрахункові сполучення зусиль»

## Параметри РСУ

Розрахункові сполучення повинні бути складені для всіх завантажень, прийнятих у задачі. Порядок проходження номерів завантажень може бути довільним, але логічніше задавати РСУ в порядку зростання номерів завантажень (як це зроблено у вікні приклада на рис.1.6). Номер завантаження встановлюється програмою в перший стовпчик заповнюваної таблиці. Усі параметри, що визначають РСУ в термінології програмного комплексу, розділені на дві групи: власне «Параметри РСУ» і «Коефіцієнти РСУ».

Параметри РСУ включають:

- **Коефіцієнти надійності** за навантаженням  $\gamma$ . Коефіцієнти, враховані за замовчуванням, і мають такі значення для різних видів навантаження:

постійні навантаження  $\gamma_f = 1.1$ ;

тимчасові тривалі  $\gamma_f = 1.2$ ;

короткочасні  $\gamma_f = 1.2$ ;

миттєві  $\gamma_f = 1.4$ ;

особливі  $\gamma_f = 1.0$ .

- **Частка тривалості  $\psi_g$ .** Коефіцієнт, що показує, яка частина навантаження в розглянутому загрузенні приймається як довготривало діюча. За замовчуванням генеруються такі значення:
  - постійне і довготривало діюче навантаження  $\psi_g = 1.0$ ;
  - короткочасні  $\psi_g = 0.35$ ;
  - кранові навантаження  $\psi_g = 0.6$ ;
  - інші навантаження  $\psi_g = 0.0$ ;
- **Супутні завантаження.** Маються на увазі навантаження (не більше двох), що можуть розглядатися разом з основним для даного виду навантаженням. Наприклад, якщо основним є вертикальні кранові навантаження, то супутнім є завантаження горизонтальним гальмовим впливом.
- **№ групи взаємовиключних завантажень.** Цим параметром вводяться обмеження на ті завантаження (параметром є № завантаження), які не можуть входити в одне сполучення входити одночасно.
- **Враховувати закономірність.** Це скоріше команда, чим параметр. Оцінка у віконці тут означає, що в РСУ варто врахувати імовірність зміни знака основного зусилля сполучення. До таких зусиль відносяться, наприклад, сейсмічні.

На логічні зв'язки між завантаженнями все-таки накладаються деякі обмеження, а саме такі:

а) завантаження видів 0 і 3 не можуть бути знакозмінними;

б) об'єднання завантажень допускається для видів 1, 2, 7;

в) завантаження виду 4 (гальмове) може супроводжувати тільки завантаженням виду 3 (кранове);

г) завантажень видів 1, 2, 5, 6, 7 можуть бути оголошені супутніми для завантажень 1, 2, 5, 6, 7 у будь-якій комбінації.

## Коефіцієнти РСУ

Для кожного РСУ програмою розглядається три сполучення: два основних і одне особливе (див. рис.1.6). У кожному рядку, тобто відповідно розглянутому РСУ, тут заносяться коефіцієнти зусиль у сполученнях  $\psi_i$ , де  $i = 1, 2, 3$ .

У залежності від виду завантажень значення коефіцієнтів генеруються за замовчуванням (див. табл.1.1).

Таблиця 1.1. Значення коефіцієнтів РСУ, прийнятих за замовчуванням

Вид завантаження	Основні сполучення		Особливе сполучення
	1-е	2-е	
Постійне	1.0	1.0	0.9
Довгостроково діюче	1.0	0.95	0.8
Короткочасне	1.0	0.90	0.5
Кранове	1.0	0.90	0.0
Гальмове	1.0	0.90	0.0
Сейсмічне	0	0	1.0
Особливе (крім сейсмічного)	0	0	1.0
Миттєве	1.0	0.95	0.9
Вітрове статичне	0	0	0

«Зведена таблиця для обчислення РСУ» приведена в нижній частині діалогового вікна.

Зверніть увагу на те, що для вітрового статичного завантаження всі коефіцієнти за замовчуванням дорівнюють нулю. Це пов'язано зі специфікою формування завантажень вітровим навантаженням з урахуванням пульсації.

## Приклад завдання параметрів РСУ

Покажемо процедуру завдання параметрів РСУ. Викличемо діалогове вікно «Розрахункові сполучення зусиль». Заповнимо у вікні наступні текстові поля:

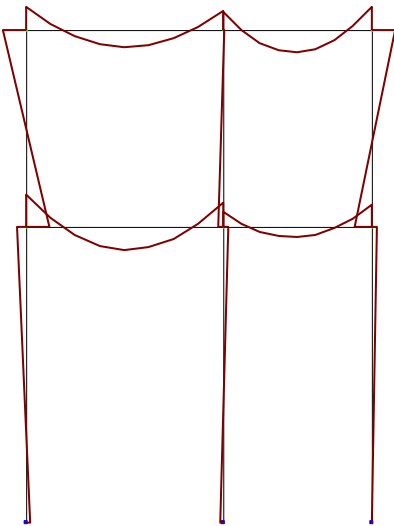
- ☞ «Номер загружения» – установлюється за замовчуванням №1;
- ☞ «Вид загружения » – виберіть зі списку «Постійне (0)»;
- ☞ у полі «№№ сопутствующих загрузений» поставте номери 2 і 3;

- ☞ у полі «Коефициент надёжности» встановіть 1.1;
- ☞ «Доля длительности» – залишається за замовчуванням рівної 1.0;
- ☞ далі задайте «Коефициенты для РСУ». У стовпцях №№ 1, 2, 3 (мал. 1.6) залишіть значення, пропоновані за замовчуванням, тобто 1.0; 1.0; 0.9;
- ☞ клацніть по кнопці **Подтвердить**.

Заповнений рядок першого завантаження РСУ з'являється в зведеній таблиці для обчислення РСУ.

Результати розрахунку:

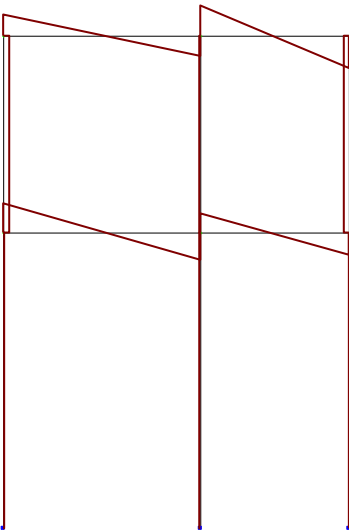
Завантаження 1  
Епюра  $M_y$   
Единиці вимірювання - кН\*м



$Z_y$   
Мінімальне навантаження -24.6839  
Максимальне навантаження 18.0757

Рис. Д1 Епюра моментів від РСУ

Завантаження 1  
Епюра  $O_z$   
Единиці вимірювання - кН



$Z_y$   
Мінімальне навантаження -45.5222  
Максимальне навантаження 42.7376

Рис. Д2 Епюра поперечних сил від РСУ

Заруження 1  
Элементы  
Единицы измерения - кН

Z Y  
X  
Минимальное усилие -136.671  
Максимальное усилие 7.25125

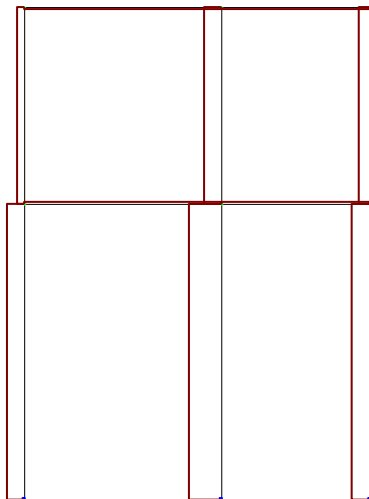
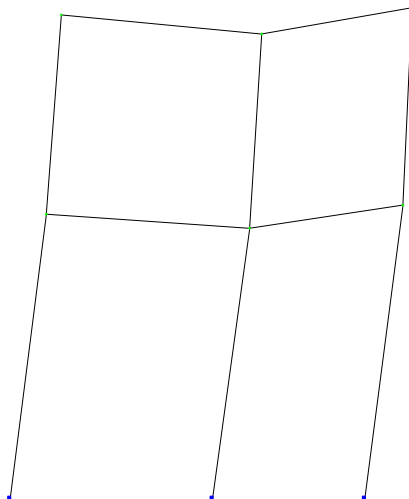


Рис. Д3 Епюри поздовжніх сил від РСУ

1



Z Y  
X

Рис. Д4 Деформована схема

Таблица жорсткостей елементів



Тип жесткости	Имя	Параметры
1	Брус 60 X 40 (.,nm)	Ro=0, E=2.942e+007, GF=0
		B=60, H=40
		EF=7.06079e+006, EIy=94143.8
		EIz=2.12e+005, GIk=0
		Y1=0.1, Y2=0.1, Z1=0.0667, Z2=0.0667
2	Тавр_Т 20 X 60	Ro=0, E=2.942e+007, GF=0
		B=20, H=60, B1=40, H1=20
		EF=4.70719e+006, EIy=145138
		EIz=3.93e+004, GIk=0
		Y1=0.0417, Y2=0.0417, Z1=0.123, Z2=0.0881

Таблиця переміщень вузлів

№ узла	Перемещения			№ загруз	Составл
	X	Z	UY		
1	0.000	0.000	0.000	1	–
2	0.000	0.000	0.000	1	–
3	0.000	0.000	0.051	1	–
4	0.182	-0.099	0.287	1	–
5	0.186	-0.170	-0.145	1	–
6	0.187	-0.056	-0.008	1	–
7	0.254	-0.115	0.050	1	–
8	0.242	-0.213	0.028	1	–
9	0.236	-0.080	-0.123	1	–

На наступній сторінці наведено таблицю результатів розрахунку – зусиль п перерізах елементів від дії розрахункових комбінацій зусиль.

№ элем	№ сечен	Тип РСУ	Кран/сейсм	Критерий	Усилия			№ загруз
					N	My	Qz	
1	1	1	-	1	-40.273	57.279	-16.278	1 3
1	1	2	-	2	-161.558	-65.421	21.418	1 2 4
1	1	1	-	5	-101.567	-63.440	19.641	1 4
1	2	2	-	1	-151.558	63.088	21.418	1 2 4
1	2	1	-	2	-40.273	-40.391	-16.278	1 3
2	1	2	-	2	-38.699	-37.044	18.660	1 2 4
2	2	2	-	1	-38.699	37.596	18.660	1 2 4
3	1	1	-	1	-130.219	68.571	-21.884	1 3
3	1	1	-	2	-143.157	-63.630	19.741	1 4
3	1	2	-	6	-172.089	70.867	-23.458	1 2 3
3	1	2	-	18	-184.381	-54.724	16.085	1 2 4
3	2	1	-	1	-143.157	54.818	19.741	1 4
3	2	2	-	2	-172.089	-69.884	-23.458	1 2 3
3	2	2	-	18	-184.381	41.789	16.085	1 2 4
4	1	2	-	1	-63.985	36.058	-17.104	1 2 3
4	1	1	-	2	-74.622	-17.936	11.172	1 4
4	2	1	-	1	-74.622	26.751	11.172	1 4
4	2	2	-	2	-63.985	-32.357	-17.104	1 2 3
5	1	1	-	2	-113.901	0.000	-4.742	1 3
5	1	1	-	13	-39.669	0.000	3.522	1 4
5	2	1	-	1	-39.669	21.132	3.522	1 4
5	2	1	-	2	-113.901	-28.451	-4.742	1 3
6	1	1	-	1	-56.347	28.574	-16.385	1 3
6	1	1	-	2	-34.692	-2.218	0.766	1 4
6	1	2	-	14	-58.763	28.224	-16.754	1 2 3
6	2	2	-	2	-58.763	-38.794	-16.754	1 2 3
6	2	1	-	6	-34.692	0.846	0.766	1 4
7	1	1	-	1	10.532	26.101	17.590	1 3
7	1	2	-	2	4.229	-100.132	112.859	1 2 4
7	1	2	-	17	12.792	-3.666	68.978	1 2 3
7	2	1	-	1	1.519	22.775	-14.672	1 4
7	2	2	-	2	12.792	-89.736	-102.685	1 2 3
8	1	1	-	1	18.998	27.376	1.286	1 3
8	1	2	-	2	-5.600	-57.282	55.367	1 2 4
8	1	2	-	17	19.146	16.205	5.419	1 2 3
8	1	1	-	18	-7.051	-49.979	53.863	1 4
8	2	1	-	1	-7.051	23.349	-4.977	1 4
8	2	1	-	2	18.998	-57.026	-57.554	1 3
8	2	2	-	17	19.146	-55.796	-53.420	1 2 3
9	1	2	-	2	-8.179	-37.596	38.699	1 2 4
9	1	2	-	18	-23.377	-6.978	24.352	1 2 3
9	2	1	-	2	-18.770	-28.898	-36.156	1 3
9	2	2	-	6	-8.179	-0.481	-20.141	1 2 4
9	2	2	-	18	-23.377	-27.252	-34.488	1 2 3
10	1	2	-	1	-6.274	5.106	29.497	1 2 3
10	1	1	-	2	-13.944	-27.470	53.568	1 4
10	1	2	-	18	-14.435	-20.690	50.069	1 2 4
10	2	2	-	2	-6.274	-38.794	-58.763	1 2 3
10	2	1	-	6	-13.944	0.846	-34.692	1 4
10	2	2	-	18	-14.435	-2.873	-38.191	1 2 4

### Список літератури

1. Лира 9.x Руководство пользователя. Київ, 2003. 500 с.
2. Городецкий А. С., Шмуклер В. С., Бондарев А. В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций : учебное пособие. Харьков: НТУ „ХПИ”, 2003. 889 с.

Методичні вказівки 03-01-103 розміщено у цифровому репозиторії НУВГП у березні 2020 р.